



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 33 788.8

**Anmeldetag:** 25. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** Wolff Cellulosics GmbH & Co KG, Walsrode/DE

**Bezeichnung:** Cellulosederivate mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften und Verfahren zur Herstellung derselben

**IPC:** C 08 B 11/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. Mai 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wehner

**Cellulosederivate mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften und Verfahren zur Herstellung derselben**

5 Die Erfindung betrifft Cellulosederivate mit gel-artigen Eigenschaften sowie ein Verfahren zu ihrer Herstellung.

Cellulosederivate finden aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften und ihrer physiologischen Unbedenklichkeit vielseitig Anwendung, beispielsweise als Verdicker,  
10 Kleber, Binde- und Dispergiermittel, Wasserrückhaltemittel, Schutzkolloide, Stabilisatoren sowie als Suspendier- Emulgier- und Filmbildemittel.

Herkömmliche kommerziell erhältliche Cellulosederivate, die in Wasser löslich sind, wie z.B. Methylhydroxyethylcellulose, Methylhydroxypropylcellulose und Hydroxyethylcellulose zeigen ein charakteristisches rheologisches Profil welches sich an  
15 Hand von Materialfunktionen der wässrigen Lösung des Cellulosederivats beschreiben lässt. Wässrige Lösung bedeutet hierbei ein System, das Wasser, Cellulosederivat und, soweit vorhanden, Salze und Begleitstoffe aus dem Cellulosederivat und dem verwendeten Wasser, z.B. Leitungswasser, enthält.

20 Als Materialfunktionen werden üblicherweise die Viskosität  $\eta$  als Funktion der Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$  zur Beschreibung der Fließeigenschaften diskutiert, sowie der Speichermodul  $G'$  und der Verlustmodul  $G''$  jeweils als Funktion der Kreisfrequenz  $\omega$  zur Beschreibung der linear-viskoelastischen Eigenschaften.

25 Die hier verwendeten Symbole folgen den Empfehlungen der Veröffentlichung: C. L. Sieglaff: "Proposed Nomenclature for Steady Shear Flow and Linear Viscoelastic Behavior", Transactions of the Society of Rheology 20:2 (1976) 311-317.

30 Im Falle der Viskosität wird in der Regel nicht die gesamte Funktion  $\eta(\dot{\gamma})$  angegeben, sondern ein repräsentativer Viskositätswert, der unter definierten Bedingungen be-

züglich der Konzentration des Cellulosederivats in der wässrigen Lösung, der Temperatur und der Schergeschwindigkeit bzw. des verwendeten Messgerätes und der Geräteeinstellungen bestimmt wird. Dieses Vorgehen ist dem Fachmann gut bekannt. Allgemein bekannt ist auch, dass in den meisten Fällen die Viskosität der wässrigen Lösung eines Cellulosederivats mit steigender Schergeschwindigkeit abnimmt, die wässrigen Lösungen somit ein pseudoplastisches Fließverhalten aufweisen.

Die linear-viskoelastischen Eigenschaften werden durch Messungen in einer oszillierenden Scherströmung bei kleiner Amplitude und variabler Kreisfrequenz ermittelt. Die Werte für  $G'$  und  $G''$  werden dabei stark von der Konzentration der Cellulosederivate in der wässrigen Lösung und von der Höhe des repräsentativen Viskositätswertes bestimmt. Es wird daher nachfolgend nur auf den relativen Verlauf von  $G'$  und  $G''$  mit steigender Kreisfrequenz  $\omega$  eingegangen. Bei einer Konzentration von 1,5 bis 2 Gewichtsteilen Cellulosederivat auf 100 Gewichtsteile der wässrigen Lösung und einer Temperatur von ca. 20 °C verlaufen  $G'$  und  $G''$  für die Cellulosederivate nach dem Stand der Technik in der Weise, dass bei kleiner Kreisfrequenz  $\omega$  der Speichermodul  $G'$  kleiner als der Verlustmodul  $G''$  ist, mit steigender Kreisfrequenz  $G'$  aber stärker zunimmt als  $G''$ . Dabei kann auch der Fall eintreten, dass  $G'$  oberhalb einer bestimmten Kreisfrequenz schließlich größer wird als  $G''$ , die Lösung bei hohen Werten der Kreisfrequenz somit vorwiegend elastisch reagiert.

Für herkömmliche Cellulosederivate ist in wässriger Lösung die Abhängigkeit von der Kreisfrequenz demnach für  $G'$  deutlich größer als für  $G''$ ; insbesondere hängen die linear-viskoelastischen Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  im Bereich der Kreisfrequenz  $\omega$  von  $0,1 \text{ s}^{-1}$  bis  $1 \text{ s}^{-1}$  in der Weise von der Kreisfrequenz ab, dass die Exponenten  $n$  und  $m$  der Beziehungen

(1)  $G' \propto \omega^n$  (Speichermodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch  $n$ )

und

(2)  $G'' \propto \omega^m$  (Verlustmodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch  $m$ )

deutlich verschieden sind, wobei für die Celluloseether nach dem Stand der Technik das Verhältnis von  $n$  zu  $m$  mehr als 1,20 beträgt.

5 Eine optimale Einstellung der rheologischen Eigenschaften wässriger Systeme kann neben der durch den Einsatz von Cellulosederivaten möglichen Viskositäts-  
erhöhung auch die Ausbildung gel-artiger Eigenschaften erfordern. Hier bieten zum Beispiel Methylhydroxyethylcellulose oder Methylhydroxypropylcellulose, die in Wasser  
einen thermischen Flockungspunkt aufweisen, die Möglichkeit, temperaturabhängig Gele zu bilden, siehe N. Sarkar: "Kinetics of thermal gelation of methylcellulose and  
10 hydroxypropylmethylcellulose in aqueous solutions", Carbohydrate Polymers 26 (1995) 195–203. Die Abhängigkeit von der Kreisfrequenz ist für  $G'$  in gel-artigen  
Systemen nicht mehr deutlich größer als für  $G''$ .

15 Die gel-artigen Eigenschaften nur durch die Nutzung des thermischen Flockungs-  
punktes unter Einstellung bestimmter Temperaturen erreichen zu können, bedeutet für die Verwendung von Cellulosederivaten eine deutliche Einschränkung in  
doppelter Hinsicht: Erstens ist es erforderlich, bei der Anwendung mit einem gewissen Aufwand die zum Erreichen der gel-artigen Eigenschaften geeigneten  
Temperaturen einzustellen. Zweitens ist die Auswahl der Cellulosederivate auf die  
20 Produkte beschränkt, die im gewünschten Temperaturbereich einen Flockungspunkt aufweisen.

Der teilweise oder vollständige Ersatz von Cellulosederivaten durch andere Hydro-  
kolloide, die in der Lage sind, gel-artige Eigenschaften zu erreichen, ist oft nicht  
25 wünschenswert, da dadurch bestimmte Eigenschaften der Cellulosederivate, wie z.B.  
gute Wasserrückhaltung, nicht mehr voll zur Verfügung stehen. Auch basieren solche  
Hydrokolloide im allgemeinen nicht auf nachwachsenden Rohstoffen oder sind nicht  
biologisch abbaubar.

Es besteht daher ein Bedarf nach Cellulosederivaten, die in wässriger Lösung gelartige rheologische Eigenschaften besitzen, ohne dass die Zugabe weiterer Stoffe oder eine besondere Temperaturführung erforderlich sind.

5 So beschreibt bereits die GB 514,917 ein Verfahren zur Herstellung wasserlöslicher Celluloseether welche mit einem bifunktionellen Reagenz vernetzt werden. Ziel der GB 514,917 war es, Celluloseether herzustellen, die eine ungewöhnlich hohe Viskosität in Wasser aufweisen. Bevorzugt zeigen die Produkte einen Viskositätsanstieg von 400 %.

10 Die US 4,321,367 beschreibt ebenfalls ein Verfahren zur Herstellung vernetzter Celluloseether, erneut mit dem Ziel Produkte mit erhöhter Viskosität in wässriger Lösung bereitzustellen. Bevorzugt wird die Viskosität einer 2 Gew.-%igen Lösung um mindestens 50 % angehoben, in der am meisten bevorzugten Variante wird die  
15 Viskosität einer 2 Gew.-%igen Lösung um mindestens 100 % angehoben.

Zum Reaktionsgemisch wird als Additiv u.a. ein Tensid gegeben, um die Verteilung der Reaktanden zu erreichen.

20 Die in diesen Schriften beschriebenen Verfahren sind teilweise mehrstufig, benötigen zusätzliche Additive wie Tenside und liefern nur geringe Ausbeuten bzgl. des Vernetzungsreagenzes. Die Viskosität der Celluloseether wird gegenüber den unvernnetzten Celluloseethern extrem stark angehoben, wodurch die Versuchsergebnisse solcher Verfahren kaum reproduzierbar werden.

25 Aus diesen Gründen sind aus dieser Produktgruppe bisher keine kommerziell anwendbaren Produkte entstanden.

30 Aufgabe dieser Erfindung war es, entsprechende Cellulosederivate zu entwickeln, die in einer Lösung aus 1,5 bis 2,0 Gewichtsteilen des Celluloseethers auf 100 Gewichtsteile Lösung bei einer Temperatur von 20°C +/- 1°C, und bei Verwendung von

Wasser ohne weitere Zusätze als Lösungsmittel, gel-artige rheologische Eigenschaften besitzen, und zwar sollen sich die gel-artigen Eigenschaften direkt bei der Temperatur einstellen, bei der das Cellulosederivat in Lösung gebracht werden kann. Weiterhin soll keine Zugabe weiterer Stoffe erforderlich sein, um die gel-artigen Eigenschaften der Lösung zu erhalten.

Der Begriff "gel-artige rheologische Eigenschaften" wird hier durch die Abhängigkeit der linear-viskoelastischen Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  von der Kreisfrequenz  $\omega$  definiert, angelehnt an die Definition des "Gelpunktes" bekannt aus Arbeiten von Chambon und Winter [siehe: F. Chambon, H. H., Winter: "Linear Viscoelasticity at the Gel Point of a Crosslinking PDMS with Imbalanced Stoichiometry", Journal of Rheology 31 (8) (1987) 683–697]; dort wird der Gelpunkt als der Punkt beschrieben, wo die Frequenzabhängigkeit für  $G'$  und  $G''$  nach den Beziehungen:

- (1)  $G' \propto \omega^n$  (Speichermodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch  $n$ )  
und
- (2)  $G'' \propto \omega^m$  (Verlustmodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch  $m$ )

beschrieben werden kann und die Exponenten  $n$  und  $m$  gleich groß sind, bzw. das Verhältnis von  $n$  zu  $m$  einen Wert von 1 erreicht. Die Werte von  $G'$  und  $G''$  können dabei verschieden sein, es kommt nur darauf an, dass der Logarithmus von  $G'$  und der Logarithmus von  $G''$  jeweils aufgetragen gegen den Logarithmus von  $\omega$  dieselbe Steigung aufweisen, wobei wir hier nur den Bereich der Kreisfrequenz  $\omega$  von  $0,1 \text{ s}^{-1}$  bis  $1 \text{ s}^{-1}$  betrachten. Dieser Definition folgend, sollen die Cellulosederivate mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften ein Verhältnis von  $n$  zu  $m$  aufweisen, das nahe bei 1 liegt beziehungsweise diesem Wert deutlich näher kommt als dies für die herkömmlichen Cellulosederivate der Fall ist; insbesondere sollte das Verhältnis von  $n$  zu  $m$  keiner als oder gleich 1,20 sein. Um die Forderung nach einem Verhältnis von  $n$  zu  $m$  nahe bei 1 gleichmäßig zu erfüllen, sollte das Verhältnis von  $n$  zu  $m$  größer oder gleich 0,80 sein. Die Aufgabenstellung für diese Erfindung besteht somit darin,

Celluloseether zu entwickeln, für die das Verhältnis von n zu m unter den beschriebenen Bedingungen von 0,80 bis 1,20 beträgt.

5 Diese Anforderung konnte nun überraschend durch die Herstellung spezieller irreversibel vernetzter Cellulosederivate erfüllt werden.

Gegenstand dieser Erfindung sind daher Celluloseether mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften in wässriger Lösung, dadurch erhältlich, dass man

- 10 a) Cellulose mit wässriger Alkalihydroxid-Lösung in Gegenwart eines Suspensionsmittels alkalisiert,
- b) die alkalisierte Cellulose mit einem oder mehreren Alkylenoxiden reagieren lässt,
- c) dann mit einem im Suspensionsmittel enthaltenen Alkylhalogenid umsetzt
- 15 d) anschließend oder gleichzeitig die alkalisierte Cellulose mit einem Vernetzungsmittel in einer Menge von 0,0001 bis 0,05 eq, wobei die Einheit "eq" für das molare Verhältnis des Vernetzungsmittels relativ zur Anhydroglucoseeinheit (AGU) der eingesetzten Cellulose steht, umsetzt, und
- e) nach gegebenenfalls weiterer Zugabe von Alkalihydroxid und/oder Alkylierungsmittel das erhaltene irreversibel vernetzte Cellulosederivat aus dem Reaktionsgemisch abtrennt, gegebenenfalls reinigt und trocknet.
- 20

Die erfindungsgemäßen Celluloseether mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften zeichnen sich dadurch aus, dass die linear-viskoelastischen Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  einer Lösung aus 1,5 bis 2,0 Gewichtsteilen des

25 Celluloseethers auf 100 Gewichtsteile Lösung bei einer Temperatur von 20 °C  $\pm 1$  °C, und bei Verwendung von Wasser ohne weitere Zusätze als Lösungsmittel, im Bereich der Kreisfrequenz  $\omega$  von 0,1 s<sup>-1</sup> bis 1 s<sup>-1</sup> in der Weise von der Kreisfrequenz abhängen, dass die Exponenten n und m der Beziehungen

30

(1)  $G' \propto \omega^n$  (Speichermodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch n)

und

(2)  $G'' \propto \omega^m$  (Verlustmodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch m)

in etwa gleich groß sind, wobei für die Celluloseether nach dieser Erfindung das  
5 Verhältnis von n zu m von 0,80 bis 1,20 beträgt.

Die linear-viskoelastischen Materialfunktionen  $G'$  und  $G''$  einer wässrigen Lösung der  
Celluloseether werden mit Hilfe eines kommerziell erhältlichen Rotations- und  
Oszillationsrheometers im Oszillationsmodus bestimmt. Ein solches Rheometer ist  
10 ein Messgerät, mit dem für eine Probe, wie hier Celluloseetherlösung, der Zusammen-  
hang von mechanischer Deformation und mechanischer Spannung ermittelt werden  
kann, wobei je nach Bauart des Rheometers Deformation oder Spannung vorge-  
geben werden und die jeweils andere Größe gemessen wird. Dazu wird eine geeig-  
nete Menge der Celluloseetherlösung in die Messvorrichtung eingebracht. Besonders  
15 geeignete Messvorrichtungen sind Kombinationen aus Platte und Kegel oder Platte  
und Platte. Messvorrichtungen aus Becher und Zylinder sind prinzipiell ebenfalls  
geeignet, jedoch wegen des in der Regel höheren Trägheitsmoments des Drehkörpers  
für Messungen im Oszillationsmodus nicht ideal.

20 Nach dem Einfüllen wird die Celluloseetherlösung für einige Zeit temperiert, um  
definierte Randbedingungen für die Messung einzustellen.

Die Messung im Oszillationsmodus erfolgt dann in der Weise, dass mit Hilfe der  
Rheometersteuerung eine im Laufe der Zeit (Zeit dargestellt durch das Symbol: t)  
25 sinusförmig oszillierende Scherdeformation  $\gamma^*$  der Probe eingestellt wird, charakteri-  
siert durch die Deformationsamplitude  $\gamma_0$  und die Kreisfrequenz  $\omega$ :

$$\gamma^* = \gamma_0 \sin(\omega t)$$

Die Deformationsamplitude  $\gamma_0$  beschreibt die maximal während der Oszillation auf-  
tretende Deformation, das heißt,  $\gamma^*$  wechselt während eines Oszillationszyklus  
30 zwischen den Extremwerten  $+\gamma_0$  und  $-\gamma_0$ . Die Dauer eines vollständigen Oszillations-



zyklus beträgt  $2\pi$  mal den Kehrwert der Kreisfrequenz  $\omega$ , das heißt die Oszillation erfolgt in kürzerer Zeit, je höher die Kreisfrequenz eingestellt wird.

Die bei diesem Vorgang erzeugte mechanische Spannung  $\sigma^*$  oszilliert mit der Spannungsamplitude  $\sigma_0$ , ebenfalls sinusförmig im Laufe der Zeit und mit gleicher Kreisfrequenz wie die Deformation  $\gamma^*$ , jedoch verschoben um den Phasenwinkel  $\delta$ :

$$\sigma^* = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta)$$

Der Phasenwinkel nimmt je nach den viskoelastischen Eigenschaften der Probe Beträge von 0 bis  $\pi/2$  an, wobei  $\delta = 0$  den Grenzfall für ideales rein elastisches Verhalten darstellt und  $\delta = \pi/2$  den Grenzfall für ideales rein viskoses Verhalten.

Die Ermittlung linear-viskoelastischer Materialfunktionen erfordert, dass zuvor der Bereich der Deformationsamplitude  $\gamma_0$  ermittelt wird, wo für die zu untersuchende Probe ein linearer Zusammenhang zwischen Deformationsamplitude und Spannungsamplitude besteht und sich der Phasenwinkel mit der Deformationsamplitude praktisch nicht ändert. Diese Bedingungen sind in der Regel gut erfüllt, wenn die Deformationsamplitude ausreichend klein gewählt wird.

Die Daten können dann direkt in die linear-viskoelastischen Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  umgerechnet werden:

$G' = \sigma_0/\gamma_0 \cos \delta$  (Speichermodul ist gleich Spannungsamplitude geteilt durch Deformationsamplitude, multipliziert mit dem Kosinus des Phasenwinkels)  
und

$G'' = \sigma_0/\gamma_0 \sin \delta$  (Verlustmodul ist gleich Spannungsamplitude geteilt durch Deformationsamplitude, multipliziert mit dem Sinus des Phasenwinkels)

Bei konstanter Temperatur hängen  $G'$  und  $G''$  für eine gegebene Celluloseetherlösung nur von der Kreisfrequenz  $\omega$  ab. An Hand des Verlaufes der linear-viskoelastischen Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  bei Variation der Kreisfrequenz  $\omega$  lassen sich herkömmliche Celluloseether und Celluloseether mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften eindeutig unterscheiden.

Es wurde überraschend festgestellt, dass die gel-artigen rheologischen Eigenschaften der erfindungsgemäßen Celluloseether sowohl für Lösungen in Wasser ohne weitere Zusätze gefunden werden, als auch für Lösungen in einem Lösungsmittel aus 98 Gewichtsteilen Wasser und 2 Gewichtsteilen Natriumhydroxid je 100 Gewichtsteilen Lösungsmittel.

Dabei weisen die Lösungen der erfindungsgemäßen Celluloseether für die Exponenten  $n$  und  $m$  der Beziehungen

- (1)  $G' \propto \omega^n$  (Speichermodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch  $n$ )  
und  
(2)  $G'' \propto \omega^m$  (Verlustmodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch  $m$ )

ein Verhältnis von  $n$  zu  $m$  auf, das im Bereich von 0,80 bis 1,20 liegt, insbesondere von 0,85 bis 1,20. Für bevorzugte Celluloseether nach dieser Erfindung beträgt das Verhältnis von  $n$  zu  $m$  0,88 bis 1,18, besonders bevorzugt von 0,90 bis 1,15. Noch weiter bevorzugte Celluloseether weisen ein Verhältnis von  $n$  zu  $m$  von 0,95 bis 1,15 auf; das Verhältnis von  $n$  zu  $m$  für die am meisten bevorzugten Celluloseether liegt im Bereich von 0,98 bis 1,12.

Ebenfalls überraschend ist die geringe Änderung des Verhältnisses von  $n$  zu  $m$  beim Wechsel des Lösungsmittels. Dabei wirkt sich die Auswahl der Lösungsmittel

A: Wasser

30 oder

B: 98 Gewichtsteile Wasser und 2 Gewichtsteile Natriumhydroxid je 100 Gewichtsteilen Lösungsmittel

5 nur wenig auf das Verhältnis der beiden Exponenten  $n$  und  $m$  aus, wobei die Differenz des Verhältnisses von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel A zum Verhältnis von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel B unter ansonsten identischen Bedingungen weniger beträgt als 20 von 100 des Mittelwertes aus dem Verhältnis von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel A und dem Verhältnis von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel B. Für bevorzugte Celluloseether nach dieser Erfindung beträgt die entsprechende Differenz weniger als 15 von 100, besonders bevorzugt weniger als 10 von 100 und für die am meisten bevorzugten Celluloseether weniger als 8 von 100 des Mittelwertes aus dem Verhältnis von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel A und dem Verhältnis von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel B.

15 Dieses rheologische Profil kann durch Cellulosederivate eingestellt werden, welche mit einem oder mehreren polyfunktionellen Reagenzien (auch Vernetzungsmittel genannt) irreversibel vernetzt wurden. Die Vernetzung kann vor oder nach der Veretherungsreaktion zum wasserlöslichen Cellulosederivat durchgeführt werden. Bevorzugt ist jedoch die gleichzeitige Veretherung mit Reagenzien die anschließend die Wasserlöslichkeit bewirken und dem Vernetzungsmittel.

20 Im Gegensatz zur irreversiblen Vernetzung mit einem Vernetzungsmittel wird die reversible Vernetzung mit Aldehyden wie z.B. Glyoxal während des Löseprozesses in Wasser wieder aufgehoben. Die erfindungsgemäßen irreversibel vernetzten Cellulosederivate können gegebenenfalls zusätzlich reversibel vernetzt also lösungsverzögert werden.

25 Als Vernetzungsmittel können polyfunktionelle Verbindungen eingesetzt werden, wobei bevorzugt Verbindungen eingesetzt werden, die über Halogengruppen oder Epoxygruppen oder ungesättigte Gruppen verfügen, so dass bei der Umsetzung Etherbindungen geknüpft werden. Bevorzugt werden bifunktionelle Verbindungen aus der Gruppe 1,2-Dichlorethan, 1,3-Dichlorpropan, Dichlordiethylether, Diglyci-

dylether, Phosphonsäurediglycidylester, Divinylsulfon eingesetzt. Verbindungen die zwei unterschiedliche funktionelle Gruppen tragen können ebenfalls eingesetzt werden. Beispiele hierfür sind Glycidylmethacrylat, Epichlorhydrin und Epibromhydrin. Besonders bevorzugtes Vernetzungsmittel ist Epichlorhydrin.

5

Die Einsatzmenge des Vernetzungsmittels beträgt 0,0001 bis 0,05 eq, wobei die Einheit „eq“ für das molare Verhältnis des jeweiligen Vernetzungsmittels relativ zur Anhydroglucoseeinheit (AGU) der eingesetzten Cellulose steht. Die bevorzugte Einsatzmenge des Vernetzungsmittels beträgt 0,0005 bis 0,01 eq. Die besonders bevorzugte Einsatzmenge des Vernetzungsmittels beträgt 0,001 bis 0,005 eq.

10

Bei den erfindungsgemäßen Cellulosederivaten handelt es sich bevorzugt um Celluloseether, deren Wasserlöslichkeit durch die Veretherung mit Hydroxyalkylgruppen und/oder mit Alkylgruppen erreicht wird. Bevorzugt handelt es sich bei den Cellulosederivaten um Derivate der Hydroxyethylcellulose (HEC) oder der Methylcellulose (MC). Insbesondere die MC wird bevorzugt als Mischether mit Hydroxyalkylgruppen eingesetzt (Methylhydroxyalkylcellulosen). Als Mischether der Methylcellulose sind hier insbesondere die Methylhydroxyethylcellulose (MHEC), die Methylhydroxypropylcellulose (MHPC) und die Methylhydroxyethylhydroxypropylcellulose (MHEHPC) zu nennen.

15

20

Die Alkylsubstitution wird in der Celluloseether-Chemie allgemein durch den DS beschrieben. Der DS ist die mittlere Anzahl an substituierten OH-Gruppen pro Anhydroglucoseeinheit. Die Methylsubstitution wird beispielsweise als DS (Methyl) oder DS (M) angegeben.

25

Üblicherweise wird die Hydroxyalkylsubstitution durch den MS beschrieben. Der MS ist die mittlere Anzahl von Molen des Veretherungsreagenz, die pro Mol Anhydroglucoseeinheit etherartig gebunden sind. Die Veretherung mit dem Veretherungsreagenz Ethylenoxid wird beispielsweise als MS (Hydroxyethyl) oder MS (HE)

30

angegeben. Die Veretherung mit dem Veretherungsreagenz Propylenoxid wird dementsprechend als MS (Hydroxypropyl) oder MS (HP) angegeben.

Die Bestimmung der Seitengruppen erfolgt anhand der Zeisel-Methode (Literatur: G. Bartelmus und R. Ketterer, Z. Anal. Chem. 286 (1977) 161-190).

Wird eine irreversibel vernetzte HEC als Cellulosederivat hergestellt, so wird bevorzugt ein Substitutionsgrad MS (HE) von 1,5 bis 4,5 eingestellt, insbesondere ein Substitutionsgrad MS (HE) von 2,0 bis 3,0.

Bevorzugt werden jedoch die Mischether der Methylcellulose für die Vernetzung genutzt, wobei im Falle der MHEC bevorzugt DS (M)-Werte von 1,2 bis 2,1 und MS (HE)-Werte von 0,05 bis 0,75 eingestellt werden. Besonders bevorzugt werden im Falle der MHEC DS (M)-Werte von 1,3 bis 1,7 und MS (HE)-Werte von 0,15 bis 0,45 eingestellt. Am meisten bevorzugt werden im Falle der MHEC DS (M)-Werte von 1,35 bis 1,60 und MS (HE)-Werte von 0,20 bis 0,40 eingestellt.

Im Falle der MHPC als Mischether der Methylcellulose werden bevorzugt DS (M)-Werte von 1,2 bis 2,1 und MS (HP)-Werte von 0,1 bis 1,5 eingestellt. Besonders bevorzugt werden im Falle der MHPC DS (M)-Werte von 1,3 bis 2,0 und MS (HP)-Werte von 0,2 bis 1,2 eingestellt.

Als Ausgangsmaterial für die Veretherung geeignet sind gemahlener Holzzellstoff und gemahlene Linters-Cellulose oder Mischungen aus diesen.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung von irreversibel vernetzten Methylhydroxyalkylcellulosen aus Cellulose und Alkylierungsmitteln in Gegenwart von Alkalihydroxid und einem oder mehreren Suspensionsmitteln sowie die Separierung und Reinigung der Umsetzungsprodukte bevorzugt durch Heißwasserwäsche oder Wäsche mit organischen Medien.

Die Erfindung bezieht sich daher auf ein Verfahren zur Herstellung eines Cellulosederivates, dadurch gekennzeichnet, dass man

- 5 a) Cellulose mit wässriger Alkali-hydroxid-Lösung in Gegenwart eines Suspensionsmittels alkalisiert,
- b) die alkalisierte Cellulose mit einem oder mehreren Alkylenoxiden reagieren lässt,
- 10 c) dann mit einem im Suspensionsmittel enthaltenen Alkylhalogenid umsetzt,
- d) anschließend oder gleichzeitig die alkalisierte Cellulose mit einem Vernetzungsmittel in einer Menge von 0,0001 bis 0,05 eq, wobei die Einheit "eq" für das molare Verhältnis des Vernetzungsmittel relativ zur Anhydroglucoseeinheit (AGU) der eingesetzten Cellulose steht, umsetzt, und
- 15 e) nach gegebenenfalls weiterer Zugabe von Alkali-hydroxid, und/oder Alkylierungsmittel das erhaltene irreversibel vernetzte Cellulosederivat aus dem Reaktionsgemisch abtrennt, gegebenenfalls reinigt und trocknet.

20

Die Alkalisierung (Aktivierung) der Cellulose erfolgt mit Alkali-hydroxiden in wässriger Lösung, wie Natriumhydroxid und Kaliumhydroxid, bevorzugt mit 35 bis 60 Gew.-%iger Natronlauge, besonders bevorzugt mit 48 bis 52 Gew.-%iger Natronlauge. Jedoch ist auch der Einsatz von festem Alkali-hydroxid z.B. in Form von Granulaten (Prills) möglich.

25

30

Die Alkalisierung wird bevorzugt in Gegenwart von Suspensionsmitteln durchgeführt. Als Suspensionsmittel können Dimethylether (DME), C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>-Alkane, wie z.B. Cyclohexan oder Pentan, Aromaten, wie z.B. Benzol oder Toluol, Alkohole, wie z.B. i-Propanol oder t-Butanol, Ketone, wie z.B. Butanon oder Pentanon, offenkettige oder cyclische Ether, wie z.B. Dimethoxyethan oder 1,4-Dioxan, sowie Mischungen

der angeführten Suspensionsmittel in wechselnden Mengenverhältnissen eingesetzt werden. Das besonders bevorzugte Suspensionsmittel ist Dimethylether (DME).

5 Gegebenenfalls enthält das Suspensionsmittel bereits während der Alkalisierung Teile der zur späteren Alkylierung benötigten Menge Alkylierungsmittel, bevorzugt Alkylhalogenid.

10 Für die Alkylierung eignen sich geradkettige oder verzweigte C<sub>1</sub> bis C<sub>6</sub>-Alkylhalogenide, wie z.B. bevorzugt Methylchlorid (MCl), Ethylchlorid, Ethylbromid und Propylhalogenide, wie z.B. Propyljodid. Bevorzugt sind Methylchlorid und Ethylchlorid, besonders bevorzugt ist Methylchlorid. Ebenso können Alkylierungsreagenzien mit ionischen Funktionalitäten, wie z.B. Monochloressigsäure, N-(2-Chlor-ethyl)diethylamin und Vinylsulfonsäure, verwendet werden. Geeignete Reagenzien zum Einführen von Hydroxyalkylgruppierungen sind bevorzugt Ethylenoxid (EO),  
15 Propylenoxid (PO), Butylenoxid (BO) und Acrylnitril. Besonders bevorzugt sind Ethylenoxid und Propylenoxid.

20 Die alkalisierte Cellulose wird dann mit einem oder mehreren Alkylenoxiden sowie mit dem im Suspensionsmittel enthaltenen Alkylhalogenid, bevorzugt Methylchlorid bei einer Temperatur größer 65°C umgesetzt.

Gleichzeitig wird die alkalisierte Cellulose mit einem oder mehreren polyfunktionalen Reagenzien umgesetzt. Das Vernetzungsmittel kann zu verschiedenen Zeitpunkten zum Reaktionsgemisch dosiert werden. So ist die Dosierung vor,  
25 während oder nach der Alkalisierung sowie während der Aufheizphase oder in der Hydroxyalkylierungsphase möglich. Bevorzugt wird das Vernetzungsmittel vor oder nach der Alkalisierung zum Reaktionsgemisch dosiert.

30 Das Vernetzungsmittel kann pur oder verdünnt mit inertem Suspensionsmittel oder verdünnt mit Alkylhalogenid oder Hydroxyalkylierungsmittel zugegeben werden. Bevorzugt wird das Vernetzungsmittel gelöst in inertem Suspensionsmittel oder ge-

löst in Methylchlorid oder einem Gemisch aus inertem Suspensionsmittel und Methylchlorid zugegeben.

5 Im Anschluss an die Hydroxyalkylierung wird insbesondere Alkylhalogenid in einer Menge aus mindestens der Differenz zwischen der bereits zudosierten Menge an Äquivalenten Alkylhalogenid pro AGU und der insgesamt zudosierten Menge Alkalihydroxid pro AGU, wobei diese Menge minimal 0,2 Äquivalente pro AGU beträgt, zudosiert. Gegebenenfalls wird weiteres Alkalihydroxid, bevorzugt eingesetzt als wässrige Lauge, zudosiert, wobei die Dosierung des Alkalihydroxid auch vor der  
10 Zugabe der zweiten Mengen Alkylhalogenid geschehen kann.

Bei Verwendung von Methylchlorid (MCl) werden im Folgenden die erste, mit dem Suspensionsmittel eingebrachte Menge Alkylhalogenid auch MCl I, und die zweite, im Anschluss an die Hydroxyalkylierung zudosierte Menge Alkylhalogenid auch  
15 MCl II genannt.

Das erhaltene Cellulosederivat wird aus dem Reaktionsgemisch isoliert und gegebenenfalls gereinigt.

20 Anschließend wird das Cellulosederivat nach Methoden gemäß dem Stand der Technik in ein pulverförmiges Produkt überführt.

Bei der praktischen Durchführung des Verfahrens wird gemahlene oder zerfaserte Cellulose im Regelfall inertisiert vorgelegt. Anschließend wird das cellulosische  
25 Substrat in einem Gemisch aus DME/MCl I suspendiert, wobei das Verhältnis DME/MCl I 90/10 bis 20/80 Gewichtsteile, bevorzugt 80/20 bis 40/60 Gewichtsteile und besonders bevorzugt 70/30 bis 50/50 Gewichtsteile beträgt. Die Menge an MCl I im ersten Prozess-Schritt ist wie folgt charakterisiert, wobei die Einheit „eq“ für das molare Verhältnis des jeweiligen Einsatzstoffes relativ zur Anhydroglucoseeinheit  
30 (AGU) der eingesetzten Cellulose steht: minimal eq MCl I = eq NaOH pro AGU minus 1,4 sowie maximal eq MCl I = eq NaOH pro AGU plus 0,8. Die bevorzugte



Menge an MCl I im ersten Prozess-Schritt beträgt: minimal  $\text{eq MCl I} = \text{eq NaOH pro AGU minus } 1,0$  sowie maximal  $\text{eq MCl I} = \text{eq NaOH pro AGU plus } 0,3$ . Die besonders bevorzugte Menge an MCl I im ersten Prozess-Schritt beträgt: minimal  $\text{eq MCl I} = \text{eq NaOH pro AGU minus } 0,5$  sowie maximal  $\text{eq MCl I} = \text{eq NaOH pro AGU plus } 0,1$ . Die am meisten bevorzugte Menge an MCl I im ersten Prozess-Schritt beträgt minimal  $\text{eq MCl I} = \text{eq NaOH pro AGU minus } 0,5$  sowie maximal  $\text{eq MCl I} = \text{eq NaOH pro AGU minus } 0,1$ .

Das Vernetzungsmittel Epichlorhydrin wird bevorzugt in MCl oder DME/MCl-Gemisch gelöst und dem Reaktionsgemisch zusammen mit dem restlichen Suspensionsmittel zugegeben. Die zum Lösen des Vernetzungsmittels verwendete Menge MCl oder DME/MCl-Gemisch wird bevorzugt dem Suspensionsmittel zuvor vorenthalten.

Die Alkalisierung der eingesetzten Cellulose erfolgt mit 1,5 bis 5,5 eq NaOH pro AGU, bevorzugt mit 1,9 bis 3,0 eq NaOH pro AGU, besonders bevorzugt mit 2,2 bis 2,9 eq NaOH pro AGU. In der Regel wird die Alkalisierung bei Temperaturen von 15 bis 50°C, bevorzugt um 40°C, und während 20 bis 80 Minuten, bevorzugt während 30 bis 60 Minuten, durchgeführt. Bevorzugt wird das NaOH in Form einer 35 bis 60 gewichtsprozentigen wässrigen Lösung eingesetzt, besonders bevorzugt als 48 bis 52 Gew.-%ige Natronlauge.

Nach der Alkalisierungsphase wird das Hydroxyalkylierungsmittel, z.B. Propylenoxid (PO) oder Ethylenoxid (EO) zudosiert und die Reaktion thermisch gegebenenfalls durch Aufheizen forciert. Die Zugabe des Hydroxyalkylierungsmittels kann auch während der Aufheizphase geschehen. Die Reaktion mit dem Hydroxyalkylierungsmittel dem Vernetzungsmittel und MCl I erfolgt z.B. bei 60 bis 110°C, bevorzugt bei 70 bis 90°C, besonders bevorzugt bei 75 bis 85°C. Je nach angestrebter Substitutionshöhe wird die Zugabemenge an Hydroxyalkylierungsmittel gezielt eingestellt. Die anzuwendende Menge Hydroxyalkylierungsmittel liegt bei 0,1 bis 5 eq pro AGU, bevorzugt bei 0,2 bis 2,5 eq pro AGU. Die Zugabe des Alkylenoxids zum Re-

aktionssystem kann in einem oder portioniert in mehreren Dosierschritten erfolgen, bevorzugt ist die Dosierung in einem Schritt, besonders bevorzugt in einem Schritt direkt im Anschluss an die Alkalisierungphase.

- 5 Nach der ersten Veretherungsphase wird ohne wesentliche Abkühlung die für die gewünschte Substitution mit Methylgruppen erforderliche Menge MCl II zugegeben, die wie folgt charakterisiert ist:  $\text{minimal eq MCl II} = \text{eq NaOH} - \text{eq MCl I} + 0,3$ , oder  $\text{minimal eq MCl II} = 0,2 \text{ eq MCl pro AGU}$ , wenn die nach der vorangegangenen Formel berechnete Menge MCl II kleiner als  $0,2 \text{ eq MCl pro AGU}$  ist.
- 10 Bevorzugt werden  $\text{eq MCl II} = 1 \text{ bis } 3,5 \text{ eq MCl pro AGU}$ , besonders bevorzugt  $\text{eq MCl II} = 1,5 \text{ bis } 2,5 \text{ eq MCl pro AGU}$  eingesetzt. Die Zugabe der Menge MCl II erfolgt bei einer Temperatur größer  $65^\circ\text{C}$ , bevorzugt bei  $75 \text{ bis } 90^\circ\text{C}$ , beziehungsweise bei der Temperatur, die am Ende der Hydroxyalkylierungsphase herrscht. Gegebenenfalls wird weiteres Alkalihydroxid, bevorzugt eingesetzt als wässrige Lauge,
- 15 zudosiert, wobei die Dosierung des Alkalihydroxid auch vor der Zugabe der Menge MCl II geschehen kann.

- Nach Ende der zweiten Veretherungsphase werden alle flüchtigen Bestandteile destillativ unter ggf. Anwendung von vermindertem Druck abgetrennt. Die Reinigung, Trocknung und Mahlung des resultierenden Produktes erfolgt nach den in der
- 20 Cellulosederivat-Technologie üblichen Methoden gemäß dem Stand der Technik.

- Die nachfolgenden Beispiele sollen das erfindungsgemäße Verfahren erläutern und die resultierenden Produkte beschreiben, ohne die Erfindung zu beschränken:
- 25

**Beispiele****Beispiel 1 (Vergleichsbeispiel)**

5 In einem 400 l Autoklaven werden 17,7 kg gemahlener Holzzellstoff (Feuchte: 3,6 Gew.-%; GVZ in Cuen: 1558 ml/g) und 17,7 kg gemahlene Baumwoll-Linters (Feuchte: 4,2 Gew.-%; GVZ in Cuen: 1753 ml/g) durch Evakuieren und Beaufschlagen mit Stickstoff inertisiert. Anschließend wird ein Gemisch aus 52,9 kg Dimethylether und 2,0 mol eq Chlormethan in den Reaktor dosiert. Dann werden 2,2  
10 mol eq Natriumhydroxid in Form einer 50 Gew.-%igen wässrigen Natronlauge unter Mischen in ca. 10 Minuten auf die Cellulose gesprüht. Über die gesamte Reaktionsphase hinweg wird das Reaktionssystem weiterhin gemischt. Es wird weitere 35 Minuten alkalisiert. Die Dosierung der Lauge und die anschließende Alkalisierung verlaufen unter einen Temperaturanstieg von ca. 28°C auf ca. 38°C.  
15 Dann werden 0,66 mol eq Ethylenoxid über ca. 25 min in den Reaktor dosiert. Dabei wird das Gemisch auf 60 bis 63°C geheizt. Nachdem weitere 25 Minuten bei dieser Temperatur gemischt worden ist, wird in 25 min auf 78 bis 82°C geheizt. Anschließend wird weitere 60 Minuten bei dieser Temperatur umgesetzt. Bei dieser Temperatur werden binnen 8 Minuten 2,0 mol eq Chlormethan in den Reaktor  
20 dosiert. Anschließend wird für weitere 12 Minuten bei gleicher Temperatur umgesetzt. Die flüchtigen Bestandteile werden abdestilliert und der Reaktor evakuiert.

Das Rohprodukt wird einer Wäsche mit heißem Wasser unterworfen, anschließend getrocknet und gemahlen.

25 Der Substitutionsgrad der so erhaltenen Methylhydroxyethylcellulose durch Methylgruppen (DS-M) betrug 1,48, der Substitutionsgrad durch Hydroxyethylgruppen (MS-HE) betrug 0,40. Der NaCl-Gehalt betrug 2,3 Gew.-%.

**Beispiel 2:**

Wie die Synthese in Beispiel 1, jedoch werden im Anschluss an die Alkalisierung 0,001 mol eq Epichlorhydrin gelöst in 2,5 l Dimethoxyethan binnen 5 Minuten in den Reaktor dosiert.

Der Substitutionsgrad der erhaltenen irreversibel vernetzten Methylhydroxyethylcellulose durch Methylgruppen (DS-M) betrug 1,42, der Substitutionsgrad durch Hydroxyethylgruppen (MS-HE) betrug 0,43. Der NaCl-Gehalt 3,6 Gew.-%.

**Messungen zu den Beispielen**

Die Methylhydroxyethylcellulosen (MHEC) aus Beispiel 1 (Messung 1) und Beispiel 2 (Messung 2) wurden in Wasser gelöst: 1,5 Gewichtsteile MHEC und 98,5 Gewichtsteile Wasser.

Das Löseverfahren ist für alle Messungen und Beispiele gleich: Die abgewogene Menge Celluloseether wird in die zuvor abgewogene Menge Lösungsmittel bei Raumtemperatur unter Rühren langsam eingestreut, um die Bildung von Klumpen zu vermeiden. Das als Behälter für die Lösung verwendete runde Glasgefäß wird mit einem Deckel dicht verschlossen und mehrmals mit der Hand geschüttelt, um die noch nicht gelösten Anteile Celluloseether zu verteilen. Der weitere Lösevorgang erfolgt innerhalb von 24 Stunden, wobei das runde Glasgefäß liegend um seine Längsachse langsam gedreht wird. Auf diese Weise werden alle Teile des Innenraums des Glasgefäßes von der Flüssigkeit laufend benetzt.

Nach dem Lösevorgang wird das Glasgefäß mit der Celluloseetherlösung für einige Stunden aufrecht stehen gelassen damit eventuell in der Lösung verteilte Luftblasen aufsteigen und aus der Lösung entweichen können.

Anschließend erfolgt die rheologische Charakterisierung der Celluloseetherlösung; die Prozedur ist für alle Messungen und Beispiele gleich: Direkt vor der Untersuchung mit dem Rheometer wird das Glasgefäß geöffnet und die erforderliche Menge Celluloseetherlösung aus dem Glasgefäß entnommen und in die Messvorrichtung des Rheometers gefüllt. Die Messvorrichtung wird in die zur Durchführung der Messung erforderliche Position gefahren. Vor dem Start der Messung wird die für die Celluloseetherlösung in der Messvorrichtung erforderliche Zeit zum Erreichen einer Temperatur von 20°C abgewartet; die Temperaturregelung erfolgt entsprechend der Temperaturanzeige des Rheometers. Die Abweichungen auf Grund der Unsicherheit in der Kalibration der Temperaturmessung sind gering und betragen bei einer Temperaturanzeige von 20°C maximal  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Die Schwankung der Temperaturanzeige während der Messung beträgt maximal  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ .

Während der Messung wird die Kreisfrequenz  $\omega$  in der Weise variiert, dass insgesamt 6 Messpunkte im Bereich  $\omega$  von  $0,1\text{ s}^{-1}$  bis  $1\text{ s}^{-1}$  liegen. Die Deformationsamplitude  $\gamma_0$  beträgt dabei zwischen 0,0025 und 0,0075, was in allen beobachteten Fällen ausreichend klein war um die Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  sicher im linear-viskoelastischen Bereich zu bestimmen.

Die Ergebnisse der rheologischen Messung 1 für Beispiel 1 (Vergleichsbeispiel) sind in Tabelle 1 aufgeführt:

**Messung 1:**

**Tabelle 1:** Linear-viskoelastische Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  in Abhängigkeit von der Kreisfrequenz  $\omega$  für die Methylhydroxyethylcellulose aus Beispiel 1 (Vergleichsbeispiel)

$\omega$ Einheit: $s^{-1}$	$G'$ Einheit: Pa	$G''$ Einheit: Pa
0.1	6.64	13.2
0.159	9.78	17.9
0.251	14.8	23.4
0.398	21.5	30.4
0.632	30.6	37.7
1	42.4	47.6

Rheometer: Universal Dynamic Spectrometer UDS 200 von der Firma Physica Messtechnik GmbH, Stuttgart, Deutschland

Messvorrichtung: Kegel/Platte mit 50 mm Durchmesser, Kegel mit  $1^\circ$  Kegelwinkel und 0,05 mm Abflachung der Kegelspitze

Die weitere Auswertung der Daten erfolgt in der Weise, dass die Exponenten  $n$  und  $m$  der Beziehungen

- (1)  $G' \propto \omega^n$  (Speichermodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch  $n$ )  
und  
(2)  $G'' \propto \omega^m$  (Verlustmodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch  $m$ )

ermittelt werden, indem eine Regressionsanalyse für den Logarithmus des Speichermoduls  $G'$  ( $\log G'$ ) als Funktion des Logarithmus der Kreisfrequenz  $\omega$  ( $\log \omega$ ) durchgeführt wird wobei die Steigung der Geraden dem Exponenten  $n$  entspricht, sowie indem eine Regressionsanalyse für den Logarithmus des Verlustmoduls  $G''$  ( $\log G''$ ) als Funktion des Logarithmus der Kreisfrequenz  $\omega$  ( $\log \omega$ ) durchgeführt wird wobei

die Steigung der Geraden dem Exponenten  $m$  entspricht. Die Ergebnisse dieser Regressionsanalyse für Beispiel 1 (Vergleichsbeispiel) sind in Tabelle 2 aufgeführt:

Tabelle 2: Regressionsanalyse für  $\log G'$  gegen  $\log \omega$  und  $\log G''$  gegen  $\log \omega$  für die Methylhydroxyethylcellulose aus Beispiel 1 (Vergleichsbeispiel), Daten für  $G'$ ,  $G''$  und  $\omega$  aus Tabelle 1

log ω	log G'	log ω	log G''
-1	0.8222	-1	1.1206
-0.7986	0.9903	-0.7986	1.2529
-0.6003	1.1702	-0.6003	1.3692
-0.4001	1.3324	-0.4001	1.4829
-0.1993	1.4857	-0.1993	1.5763
0	1.6273	0	1.6776
Steigung: 0,8107 R: 0,9992 Die Steigung entspricht dem Exponenten n der Gleichung (1)  Die Regression erfolgte nach dem bekannten Prinzip der kleinsten Summe der Fehlerquadrate. R ist ein Koeffizient für die Qualität der Regression und sollte stets größer als 0,95 sein.		Steigung: 0,5528 R: 0,9982 Die Steigung entspricht dem Exponenten m der Gleichung (2)  Die Regression erfolgte nach dem bekannten Prinzip der kleinsten Summe der Fehlerquadrate. R ist ein Koeffizient für die Qualität der Regression und sollte stets größer als 0,95 sein.	
Für die Methylhydroxyethylcellulose aus Beispiel 1 (Vergleichsbeispiel) ergibt sich somit ein <u>Verhältnis von n zu m von 1,47</u> (0,8107/0,5528); das Produkt besitzt keine gel-artigen rheologischen Eigenschaften.			



**Messung 2:**

Die Ergebnisse der rheologischen Messung 2 für Beispiel 2 sind in Tabelle 3 aufgeführt:

5

Tabelle 3: Linear-viskoelastische Materialfunktionen Speichermodul $G'$ und Verlustmodul $G''$ in Abhängigkeit von der Kreisfrequenz $\omega$ für die Methylhydroxyethylcellulose aus Beispiel 2		
$\omega$ Einheit: $s^{-1}$	$G'$ Einheit: Pa	$G''$ Einheit: Pa
0.1	26.5	17.8
0.159	31.6	20.9
0.251	38.1	25.6
0.398	45.1	29.9
0.632	54.3	35.7
1	64.5	41.3
Rheometer:	Universal Dynamic Spectrometer UDS 200 von der Firma Physica Messtechnik GmbH, Stuttgart, Deutschland	
Messvorrichtung:	Kegel/Platte mit 50 mm Durchmesser, Kegel mit $1^\circ$ Kegelswinkel und 0,05 mm Abflachung der Kegelspitze	

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse für Messung 2 sind in Tabelle 4 aufgeführt:

Tabelle 4: Regressionsanalyse für log G' gegen log ω und log G'' gegen log ω für die Methylhydroxyethylcellulose aus Beispiel 2, Daten für G', G'' und ω aus Tabelle 3			
log ω	log G'	log ω	log G''
-1	1.4232	-1	1.2504
-0.7986	1.4997	-0.7986	1.3201
-0.6003	1.5809	-0.6003	1.4082
-0.4001	1.6542	-0.4001	1.4757
-0.1993	1.7348	-0.1993	1.5527
0	1.8096	0	1.6160
Steigung: 0,3873 R: 0,9999		Steigung: 0,3706 R: 0,9991	
Die Steigung entspricht dem Exponenten n der Gleichung (1)		Die Steigung entspricht dem Exponenten m der Gleichung (2)	
Die Regression erfolgte nach dem bekannten Prinzip der kleinsten Summe der Fehlerquadrate. R ist ein Koeffizient für die Qualität der Regression und sollte stets größer als 0,95 sein.		Die Regression erfolgte nach dem bekannten Prinzip der kleinsten Summe der Fehlerquadrate. R ist ein Koeffizient für die Qualität der Regression und sollte stets größer als 0,95 sein.	
Für die Methylhydroxyethylcellulose aus Beispiel 2 ergibt sich somit ein <u>Verhältnis von n zu m von 1,05</u> (0,3873/0,3706). Das Produkt besitzt gel-artige rheologische Eigenschaften.			

**Beispiel 3:**

In einem 400 l Autoklaven werden 17,8 kg gemahlener Holzzellstoff (Feuchte: 4,2 Gew.-%; GVZ in Cuen: 1194 ml/g) und 17,5 kg gemahlene Baumwoll-Linters (Feuchte: 5,3 Gew.-%; GVZ in Cuen: 1343 ml/g) durch Evakuieren und Beaufschlagen mit Stickstoff inertisiert.. Anschließend wird ein Gemisch aus 65,4 kg Dimethylether und 16,2 kg Chlormethan in den Reaktor dosiert. Zusätzlich werden 0,003 mol eq Epichlorhydrin gelöst in 5 kg Chlormethan in den Reaktor dosiert. Dann werden 2,5 mol eq Natriumhydroxid in Form einer 50 Gew.-%igen wässrigen Natronlauge unter Mischen in ca. 10 Minuten auf die Cellulose gesprüht. Über die gesamte Reaktionsphase hinweg wird das Reaktionssystem weiterhin gemischt. Es wird weitere 25 Minuten alkalisiert. Die Dosierung der Lauge und die anschließende Alkalisierung verlaufen unter einem Temperaturanstieg von ca. 25°C auf ca. 38°C. Das Gemisch wird dann binnen 55 Minuten auf 80 bis 85°C geheizt und anschließend für 80 Minuten bei dieser Temperatur gehalten, wobei ab ca. 58°C 2,5 mol eq Propylenoxid über ca. 80 min in den Reaktor dosiert werden. Dann wird bei gleicher Temperatur 37,1 kg Chlormethan binnen 30 Minuten in den Reaktor dosiert. Es wird weitere 10 Minuten bei gleicher Temperatur gehalten und dann weitere 2,0 mol eq Natriumhydroxid in Form einer 50 Gew.-%igen wässrigen Natronlauge in ca. 60 Minuten in das Reaktionsgemisch gesprüht. Anschließend wird weitere 30 Minuten bei dieser Temperatur umgesetzt. Die flüchtigen Bestandteile werden abdestilliert und der Reaktor evakuiert.

Das Rohprodukt wird einer Wäsche mit heißem Wasser unterworfen, anschließend getrocknet und gemahlen.

Der Substitutionsgrad der so erhaltenen irreversibel vernetzten Methylhydroxypropylcellulose (MHPC) durch Methylgruppen (DS-M) betrug 1,83, der Substitutionsgrad durch Hydroxypropylgruppen (MS-HP) betrug 0,97. Der NaCl-Gehalt betrug 0,7 Gew.-%.

**Messung 3:**

Die Methylhydroxypropylcellulose aus Beispiel 3 wurde in Wasser gelöst: 1,5 Gewichtsteile MHPC und 98,5 Gewichtsteile Wasser. Die rheologische Messung wurde wie beschrieben durchgeführt aber mit einem Rheometer Modell RS 600 der Firma Thermo Haake GmbH, Karlsruhe, Deutschland mit einer Kegel/Platte Messvorrichtung mit 60 mm Durchmesser, Kegel mit  $1^\circ$  Kegelwinkel und 0,05 mm Abflachung der Kegelspitze. Die Auswertung ergab ein Verhältnis von n zu m von 1,14.

**Messung 4:**

Die MHPC aus Beispiel 3 wurde in einem Lösungsmittel aus 98 Gewichtsteilen Wasser und 2 Gewichtsteilen Natriumhydroxid je 100 Gewichtsteilen Lösungsmittel gelöst: 1,5 Gewichtsteile MHPC und 98,5 Gewichtsteile Lösungsmittel. Die rheologische Messung wurde durchgeführt wie in Messung 3 beschrieben. Die Auswertung ergab ein Verhältnis von n zu m von 0,95.

**Messung 5:**

Die MHEC aus Beispiel 2 wurde in einem Lösungsmittel aus 98 Gewichtsteilen Wasser und 2 Gewichtsteilen Natriumhydroxid je 100 Gewichtsteilen Lösungsmittel gelöst: 1,5 Gewichtsteile MHEC und 98,5 Gewichtsteile Lösungsmittel. Die rheologische Messung wurde durchgeführt wie in Messung 2 beschrieben. Die Auswertung ergab ein Verhältnis von n zu m von 1,03.

Der Vergleich von Messung 3 und Messung 4 zeigt, dass die MHPC aus Beispiel 3, für die an Hand einer Lösung in Wasser gel-artige Eigenschaften gefunden wurden ( $n/m = 1,14$ ), auch in einer Lösung in einem Lösungsmittel aus 98 Gewichtsteilen Wasser und 2 Gewichtsteilen Natriumhydroxid je 100 Gewichtsteilen Lösungsmittel gel-artige Eigenschaften besitzt ( $n/m = 0,95$ ). Der Mittelwert des Verhältnisses von n zu m aus beiden Lösungsmitteln beträgt 1,045. Die Differenz der Verhältnisse von n

zu m aus beiden Lösungsmitteln beträgt 0,19; diese Differenz entspricht ca. 18 von 100 bezogen auf den Mittelwert aus den Verhältnissen von n zu m für die beiden Lösungsmittel.

- 5 Der Vergleich von Messung 2 und Messung 5 zeigt, dass die MHEC aus Beispiel 2, für die an Hand einer Lösung in Wasser gel-artige Eigenschaften gefunden wurden ( $n/m = 1,05$ ), auch in einer Lösung in einem Lösungsmittel aus 98 Gewichtsteilen Wasser und 2 Gewichtsteilen Natriumhydroxid je 100 Gewichtsteilen Lösungsmittel gel-artige Eigenschaften besitzt ( $n/m = 1,03$ ). Der Mittelwert des Verhältnisses von n zu m aus beiden Lösungsmitteln beträgt 1,04. Die Differenz der Verhältnisse von n zu m aus beiden Lösungsmitteln beträgt 0,02; diese Differenz entspricht ca. 2 von 100 bezogen auf den Mittelwert aus den Verhältnissen von n zu m für die beiden Lösungsmittel.
- 10

**Patentansprüche**

1. Celluloseether mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften in wässriger Lösung, dadurch erhältlich, dass man
- 5
- a) Cellulose mit wässriger Alkalihydroxid-Lösung in Gegenwart eines Suspensionsmittels alkalisiert,
  - b) die alkalisierte Cellulose mit einem oder mehreren Alkylenoxiden reagieren lässt,
  - 10 c) dann mit einem im Suspensionsmittel enthaltenen Alkylhalogenid umsetzt,
  - d) anschließend oder gleichzeitig die alkalisierte Cellulose mit einem Vernetzungsmittel in einer Menge von 0,0001 bis 0,05 eq, wobei die Einheit "eq" für das molare Verhältnis des Vernetzungsmittels relativ zur Anhydroglucoseeinheit (AGU) der eingesetzten Cellulose steht umsetzt und
  - 15 e) nach gegebenenfalls weiterer Zugabe von Alkalihydroxid und/oder Alkylierungsmittel das erhaltene irreversibel vernetzte Cellulosederivat aus dem Reaktionsgemisch abtrennt, gegebenenfalls reinigt und trocknet.
  - 20
2. Cellulosederivat nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Vernetzungsmittel ein oder mehrere bifunktionelle Reagenzien eingesetzt werden.
- 25
3. Cellulosederivat nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Vernetzungsmittel Epichlorhydrin eingesetzt wird.
4. Celluloseether nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das rheologische Profil in wässriger Lösung der Celluloseether dadurch charakterisiert ist, dass die linear-viskoelastischen Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  einer Lösung aus 1,5 bis 2,0 Ge-
- 30

wichtsteilen des Celluloseethers auf 100 Gewichtsteile Lösung bei einer Temperatur von 20°C +/- 1°C, und bei Verwendung von Wasser ohne weitere Zusätze als Lösungsmittel, im Bereich der Kreisfrequenz  $\omega$  von 0,1 s<sup>-1</sup> bis 1 s<sup>-1</sup> in der Weise von der Kreisfrequenz abhängen, dass die Exponenten n und m der Beziehungen

$G' \propto \omega^n$  (Speichermodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch n) und

$G'' \propto \omega^m$  (Verlustmodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch m)

in etwa gleich groß sind, wobei für die Celluloseether nach dieser Erfindung das Verhältnis von n zu m von 0,80 bis 1,20 beträgt.

5. Celluloseether nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet dass die linear-viskoelastischen Materialfunktionen Speichermodul  $G'$  und Verlustmodul  $G''$  einer Lösung aus 1,5 bis 2,0 Gewichtsteilen des Celluloseethers auf 100 Gewichtsteile Lösung bei einer Temperatur von 20°C +/- 1°C, und bei Verwendung eines Lösungsmittels aus 98 Gewichtsteilen Wasser und 2 Gewichtsteilen Natriumhydroxid je 100 Gewichtsteilen Lösungsmittel, im Bereich der Kreisfrequenz  $\omega$  von 0,1 s<sup>-1</sup> bis 1 s<sup>-1</sup> in der Weise von der Kreisfrequenz abhängen, dass die Exponenten n und m der Beziehungen

$G' \propto \omega^n$  (Speichermodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch n) und

$G'' \propto \omega^m$  (Verlustmodul verhält sich proportional zur Kreisfrequenz hoch m)

in etwa gleich groß sind, wobei für die Celluloseether nach dieser Erfindung das Verhältnis von n zu m von 0,80 bis 1,20 beträgt.

6. Celluloseether nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet dass die Auswahl der Lösungsmittel

A: Wasser

oder

B: 98 Gewichtsteile Wasser und 2 Gewichtsteile Natriumhydroxid je 100  
Gewichtsteilen Lösungsmittel

sich nur wenig auf das Verhältnis der beiden Exponenten  $n$  und  $m$  auswirkt, wobei die Differenz des Verhältnisses von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel A zum Verhältnis von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel B unter ansonsten identischen Bedingungen weniger beträgt als 20 von 100 des Mittelwertes aus dem Verhältnis von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel A und dem Verhältnis von  $n$  zu  $m$  im Lösungsmittel B.

7. Cellulosederivat nach einem der Ansprüche 1-6 dadurch gekennzeichnet, dass das Cellulosederivat ein Hydroxyethylcellulosederivat, ein Methylcellulosederivat, ein Methylhydroxypropylcellulosederivat oder ein Methylhydroxyethylcellulosederivat ist.

8. Verfahren zur Herstellung eines Cellulosederivates gemäß einem der Ansprüche 1-7, dadurch gekennzeichnet, dass man

a) Cellulose mit wässriger Alkalihydroxid-Lösung in Gegenwart eines Suspensionsmittels alkalisiert,

b) die alkalisierte Cellulose mit einem oder mehreren Alkylenoxiden reagieren lässt,

c) dann mit einem im Suspensionsmittel enthaltenen Alkylhalogenid umsetzt,



- 5 d) anschließend oder gleichzeitig die alkalisierte Cellulose mit einem Vernetzungsmittel in einer Menge von 0.0001 bis 0,05 eq, wobei die Einheit "eq" für das molare Verhältnis des Vernetzungsmittel relativ zur Anhydroglucoseeinheit (AGU) der eingesetzten Cellulose steht, umsetzt,
- 10 e) und gegebenenfalls nach weiterem Einsatz von Alkalihydroxid, und/oder Alkylierungsmittel das erhaltene irreversibel vernetzte Cellulosederivat aus dem Reaktionsgemisch abtrennt, gegebenenfalls reinigt und trocknet.
- 15 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass man in Schritt a) die Cellulose mit wässriger Alkalihydroxid-Lösung, in Gegenwart eines Suspensionsmittels, welches Alkylhalogenid in der nach folgender Formel berechneten Menge: [Äquivalente Alkalihydroxid pro AGU minus 1,4] bis [Äquivalente Alkalihydroxid pro AGU plus 0,8] enthält, alkalisiert, und in Schritt e) Alkylhalogenid in einer Menge aus mindestens der Differenz zwischen der bereits zudosierten Menge an Äquivalenten Alkylhalogenid pro AGU und der insgesamt zudosierten Menge Alkalihydroxid pro AGU, wobei diese Menge minimal 0,2 Äquivalente pro AGU beträgt, zugibt und gegebenenfalls weitere Alkalihydroxid-Lösung.
- 20 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Alkylhalogenid Methylchlorid ist.
- 25 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Vernetzungsmittel in Methylchlorid oder einem Methylchlorid/Dimethylether-Gemisch gelöst ist.

**Cellulosederivate mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften und Verfahren zur Herstellung derselben**

**Z u s a m m e n f a s s u n g**

Beschrieben werden Celluloseether mit gel-artigen rheologischen Eigenschaften in wässriger Lösung, dadurch erhältlich, dass man

- a) Cellulose mit wässriger Alkalihydroxid-Lösung in Gegenwart eines Suspensionsmittels alkalisiert,
- b) die alkalisierte Cellulose mit einem oder mehreren Alkylenoxiden reagieren lässt,
- c) dann mit einem im Suspensionsmittel enthaltenen Alkylhalogenid umsetzt,
- d) anschließend oder gleichzeitig die alkalisierte Cellulose mit einem Vernetzungsmittel in einer Menge von 0,0001 bis 0,05 eq, wobei die Einheit "eq" für das molare Verhältnis des Vernetzungsmittels relativ zur Anhydroglucoseeinheit (AGU) der eingesetzten Cellulose steht umsetzt und
- e) nach gegebenenfalls weiterer Zugabe von Alkalihydroxid und/oder Alkylierungsmittel das erhaltene irreversibel vernetzte Cellulosederivat aus dem Reaktionsgemisch abtrennt, gegebenenfalls reinigt und trocknet.